

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
G 01 B 11/00			G 01 B 11/00	G
G 02 B 6/00			G 02 B 6/30	
6/30			6/34	
6/34			6/00	B

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 7 頁)

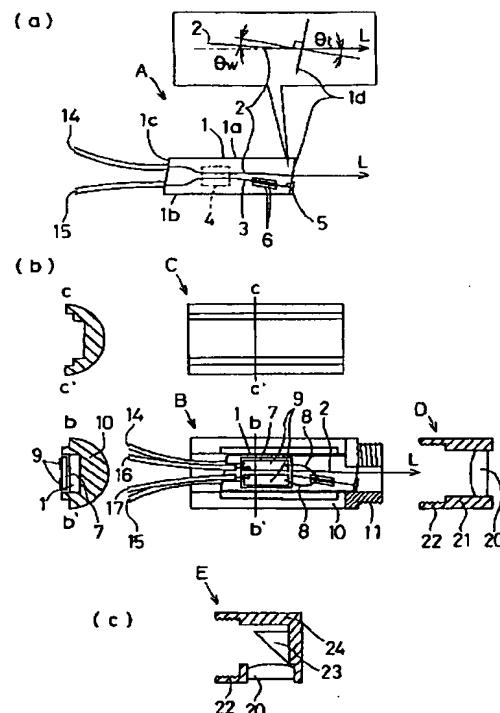
(21)出願番号	特願平7-71728	(71)出願人	000183303 住友金属鉱山株式会社 東京都港区新橋5丁目11番3号
(22)出願日	平成7年(1995)3月29日	(72)発明者	渡辺 章夫 東京都青梅市末広町1丁目6番1号 住友 金属鉱山株式会社中央研究所内
		(74)代理人	弁理士 篠原 泰司

(54)【発明の名称】 光導波路型変位センサ

(57)【要約】

【目的】 検定条件や目的に応じて集光用光学系の交換が可能な光導波路型変位センサを提供する。

【構成】 少なくとも一方の端面を長手方向に対して斜面としその斜面に測定光用入出力端を形成した光導波路基板1と、光源から出力される光源光を光導波路2に導く光ファイバ14と、光導波路基板1から出力される干渉信号を受光装置に導く光ファイバ15と、光導波路基板1表面に設けられた参照光及び/あるいは測定光Lを変調するための電極6に変調用電気信号を印加するための電送線8、8とを備えたセンサ・ヘッドBと、このセンサ・ヘッドBから射出された測定光Lを被測定物に向けて集光するためのレンズ20を備えたセンサ・キャップDとから構成され、センサ・ヘッドBとこのセンサ・キャップDとが脱着できるようにした光導波路型変位センサ。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 長手方向の両端面のうち少なくとも一方の端面を該長手方向に対して傾斜した斜面として該斜面に測定光用入出力端を形成した光導波路基板と、光源から出力される光源光を該光導波路基板に導く光ファイバと、該光導波路基板から出力される干渉信号光を受光装置に導く光ファイバと、該光導波路基板の表面に設けられた参照光及び／あるいは測定光を変調するための電極に変調用電気信号を印加するための電送線とを備えたセンサ・ヘッドと、

$$n_0 \sin(\theta_0) = n_1 \sin(\theta_1) \quad \dots \dots \quad (1)$$

ただし、 n_0 、 n_1 はそれぞれ空気および光導波路基板の屈折率、 θ_0 は該光導波路基板の長手方向と光導波路基板端面の法線のなす角度である。

【請求項 2】 前記角度 θ_0 が 5 度以上であることを特徴とする請求項 1 に記載の光導波路型変位センサ。

【請求項 3】 長手方向の両端面のうち少なくとも一方の端面を該長手方向に対して傾斜した斜面として該斜面に測定光用入出力端を形成した光導波路基板と、光源から出力される光源光を該光導波路基板に導く光ファイバと、該光導波路基板から出力される干渉信号光を受光装置に導く光ファイバと、該光導波路基板の表面に設けられた参照光及び／あるいは測定光を変調するための電極に変調用電気信号を印加するための電送線と、前記測定

$$n_0 \sin(\theta_0 + \theta_p) = n_p \sin(\theta_p) \quad \dots \dots \quad (2)$$

ただし、 n_0 、 n_p はそれぞれ空気および、プリズムの屈折率、 θ_p は該測定光用入出力端から出射される測定光と光導波路基板の長手方向のなす角度である。

【請求項 4】 前記光導波路基板には、その表面に少なくとも光導波路と方向性結合器が形成され、その長手方向の一端には光源光用入力端と干渉信号光用出力端が形成され、他端面には該測定光入出力端と参照光用反射鏡が形成されていることを特徴とする請求項 1 あるいは 4 に記載の光導波路型変位センサ。

【請求項 5】 前記センサ・キャップが、センサ・ヘッドから出射された測定光の進行方向を 90 度折り曲げるための鏡と測定光を集光するためのレンズとから構成されていることを特徴とする請求項 1 あるいは 4 に記載の光導波路型変位センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光学的干渉により被測定物の変位測定を行う光導波路型変位センサに関する。

【0002】

【従来の技術】 従来の光導波路型変位センサにおいて、工学的干渉計で変位を測定する方法の一つとして、マイケルソン干渉計の原理を利用した光導波路型変位センサがある。マイケルソン干渉計をニオブ酸リチウム (LiNbO₃) やタンタル酸リチウム (LiTaO₃) 等の電気光学結晶基板上に構成すれば、複雑な光学系の位置合わせが不要

該センサ・ヘッドから射出された測定光を被測定物に向けて集光させるためのレンズを備えたセンサ・キャップとから構成され、

該センサ・ヘッドと該センサ・キャップとが脱着できるようにしたことを特徴とする光導波路型変位センサ。

【請求項 2】 前記センサ・ヘッドの測定光の入出力用光導波路が、前記傾斜端面の法線に対して式 (1) に従う角度 θ_0 をなすように形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の光導波路型変位センサ。

10

$$n_0 \sin(\theta_0) \dots \dots \quad (1)$$

光用入出力端から出射する測定光を光導波路基板の長手方向と平行な方向に屈折させるためのプリズムとを備えたセンサ・ヘッドと、

該センサ・ヘッドから出射された測定光を被測定物に向けて集光させるためのレンズを備えたセンサ・キャップとから構成され、

該センサ・ヘッドと該センサ・キャップとが脱着できるようにすると共に、前記プリズムの測定光入射端面を、該プリズム端面の法線に対する光導波路基板の長手方向のなす角度 θ_p が式 (2) を満足するように傾斜させて形成して、該傾斜端面を前記測定光用入出力端に対向するように配置したことを特徴とする光導波路型変位センサ。

$$n_0 \sin(\theta_0 + \theta_p) = n_p \sin(\theta_p) \quad \dots \dots \quad (2)$$

でかつ小型な変位計が実現できる。マイケルソン干渉計では測定光の光軸と直角な境界面が存在すると、境界面からの反射光が被測定物からの反射光に混入し測定精度の低下を招く。

20

【0003】 そこで従来の光導波路型変位センサにおいては測定光用入出力端面を斜面にして境界面からの反射光を十分に抑制する必要が生じる。

【0004】 しかし光導波路からの出射光は屈折のため光導波路基板の長手方向と平行にはならず、集光レンズを該出射光の光軸に一致させると、測定光の被測定物への入射方向が光導波路基板の長手方向と一致しなくなり、組立が困難になると共に被測定物に対する変位センサの位置決めが困難になるという問題が生じる。

30

【0005】 この問題を解決するために、屈折率分布型レンズの一方の端面を斜めに研磨する方法がある。このような技術に関しては本件出願人が特願平 6-16544 号で提案している。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 従来の光導波路型変位センサにあっては、測定光の進行方向に対する測定可能範囲は、波面が平面波に近い範囲に限定されるため、集光系の焦点深度で限定されることになる。また、測定可能傾斜角や横方向の分解能も集光系の特性に依存し、これらの特性と上記測定可能範囲との間には相反する関係 50 がある。また細い穴の内側面等を測定するためには、セ

ンサの長手方向と直角に測定光を出射させる必要がある。

【0007】したがって、万能な光学系を設計することは不可能であり、被測定物の特徴あるいは測定目的に応じて集光用光学系の構成を変えた光導波路型センサを用意する必要があった。

【0008】またさらに従来の光導波路型変位センサは、光導波路基板からの出射光の光軸が光導波路基板の長手方向と必ずしも平行でないため集光用光学系の設計、制作等が難しくなるという問題があった。

【0009】本発明は、従来の技術の有するこのような問題点に鑑みてなされたものであり、その目的とすることとは、測定条件や目的に応じて集光用光学系の交換が可能な光導波路型変位センサを提供しようとするものである。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するた

$$n_s \sin(\theta_s) = n_p$$

ただし、 n_s 、 n_p はそれぞれ空気および光導波路基板の屈折率、 θ_s は光導波路基板の長手方向と光導波路基板端面の法線のなす角度である。

【0013】あるいは、測定光用入出力端から出射する測定光の進行方向が光導波路基板の長手方向に平行でな

$$n_s \sin(\theta_s + \theta_p) = n_p$$

ただし、 n_s 、 n_p はそれぞれ空気およびプリズムの屈折率、 θ_p は測定光用入出力端から出射される測定光の進行方向と光導波路基板の長手方向とのなす角度である。

【0015】さらに、測定光の入出力用光導波路の光導波路基板端面の法線に対する角度 θ_s は5度以上が好ましい。

【0016】また、センサ・ヘッドから出射された測定光の進行方向を90度折り曲げるためには鏡とレンズとからなるセンサ・キャップを用いるとよい。

【0017】

【作用】上記のように構成された光導波路型変位センサにおいて、光源から出射された光は、光ファイバを介して光導波路に導かれ、光導波路基板内の方向性結合器で二つの光導波路に分岐され、光導波路基板端面の法線が該光導波路基板の長手方向に対して θ_s となるように斜めに形成されている端面に導かれる。

【0018】一方の光は該端面に垂直に入射し、端面に設けられている反射鏡により反射され参照光として再び方向性結合器へ戻ってくる。他方の光は、光導波路基板端面の法線に対して角度 θ_s となるように形成された光導波路から出射される。

【0019】ここで、角度 θ_s と角度 θ_p とが式(1)を満足する場合は、測定光の光軸が光導波路基板の長手方向と平行になるように光導波路基板端面から出射される。ただし変位測定精度を落すと反射戻り光の光量は角

め、本発明の光導波路型変位センサは、長手方向の両端面のうち少なくとも一方の端面を長手方向に対して斜面としこの斜面に測定光用入出力端を形成した光導波路基板と、光源から出力される光源光を光導波路基板に導く光ファイバと、光導波路基板から出力される干渉信号光を受光装置に導く光ファイバと、光導波路基板表面に設けられた参照光及びあるいは測定光を変調するための電極に変調用電気信号を印加するための電送線とを備えたセンサ・ヘッドと、センサ・ヘッドから出射された測定光を被測定物に向けて集光させるためのレンズを備えたセンサ・キャップとを備えており、このセンサ・ヘッドと、このセンサ・キャップとが脱着できるようにしたものである。

【0011】またセンサ・ヘッドにおいて、測定光の入出力用光導波路の方向は、光導波路基板端面の法線に対して式(1)に従う角度 θ_s となるようにすると良い。

【0012】

$$n_s \sin(\theta_s) \dots \dots (1)$$

い場合には、プリズムにより進行方向を屈折させ、その20 プリズムの光導波路基板端面に相対する端面の法線に対する光導波路基板の長手方向のなす角度 θ_p が式(2)を満たすようにするとよい。

【0014】

$$n_p \sin(\theta_p) \dots \dots (2)$$

度 θ_s に依存し、角度 θ_s が大きくなるにつれて減少する。そこで反射戻り光を抑制するために、角度 θ_s は5度以上であることが好ましい。

【0020】しかし、式(1)を満足しない場合には、測定光の進行方向は光導波路基板の長手方向に対して角度 θ_s の方向に出射されるが、測定光の光軸が光導波路基板の長手方向と平行でないと測定光集光用のセンサ・キャップの作製が難しくなるので、式(2)を満足するようなプリズムを用いて、測定光の進行方向を光導波路基板の長手方向に平行になるように屈折させる。ただし角度 θ_s は上述のように5度以上であることが好ましい。

【0021】また角度 θ_s は大きくなるとレンズで集光する際に収差を生じるため、集光特性が悪化し横方向の分解能が得られなくなる。光導波路基板の長手方向に対して角度 θ_s で出射する測定光に対して、式(2)を満足するような角度 θ_p を与えたプリズムと、プリズムから出射される測定光を等倍で集光する無収差レンズ ($f_1 = f_2$ であり、点光源を f_1 の位置に置いたとき、 f_2 の位置に焦点を結ぶ収差の無いレンズ) を仮定したとき、焦点のボケからプリズムの収差が評価できる。

【0022】このような光学系を仮定して光線追跡法による計算機シミュレーションを行ったところ図3に示すような結果が得られた。ただし光導波路基板端面から出射される測定光の広がり角は実測値に照らして半角で0.50 radとした。また、光導波路基板端面からプリズムま

での距離を1mm、プリズムの屈折率を1.557とした。例えば上記のような条件の下では、ボケを1μm以下にするにはθ₁は13度以下でなければならない。

【0023】センサ・ヘッドから出射された測定光Lは、該センサ・ヘッドと分離可能な部品として作成されたセンサ・キャップに入射し、被測定物に向けて出射され、被測定物から反射された光は前記と逆の経路をたどって光導波路基板に入射する。光導波路基板に戻った測定光は前記の参照光と干渉し、その干渉光は受光素子に向けて光導波路基板から出射され、この干渉光の強度変化を検出することにより被測定物の変位が測定される。

【0024】焦点距離の短いレンズを使用したセンサ・キャップを用いれば、測定可能傾斜角は広く、横方向の分解能は高くなり、また焦点距離の長いレンズを使用したセンサ・キャップを用いれば、測定光の進行方向に対する測定可能範囲が広くなる。

【0025】また、測定光集光用のレンズの他に測定光の進行方向を90度折り曲げるための鏡を設けることにより、細い穴にセンサ・キャップを挿入して細い穴の内面等の変位が計測され得る。

【0026】

【実施例】以下、本発明の実施例について説明する。図1は、本発明に係る光導波路型変位センサの第1実施例に関する説明図である。

【0027】Aは、本実施例に用いられる光導波路基板であって、本件出願人が出願した特願平5-284643号で提案したものと実質的に同じであり、その構成について述べれば、ニオブ酸リチウム(LiNbO₃)やタンタル酸リチウム(LiTaO₃)等を素材とする長手方向に平行な側面1a, 1bと長手方向に対して斜めに研磨加工された二つの端面1c, 1dとを有している電気光学結晶基板1に、光導波路2, 3が形成されていて、さらにこの光導波路3上には変調用電極6が形成されている。

【0028】3は、端部を斜面1dに対し0度の角度、つまり垂直に臨ませた光導波路であって、端面1dには光導波路3の光を効率よく反射できる金属あるいは誘導体から成る反射鏡5が配置されている。光導波路2は斜面1dに対し角度をもって設けられている。一方、端面1cに臨む光導波路2には、光ファイバ14によりレーザ光が入力され、また光導波路3からは、干渉光が光ファイバ15により、受光素子に導かれるようになっている。

【0029】光導波路端面からの反射戻り光の強度は、光導波路と端面のなす角度θ₁に強く依存し、θ₁を5度以上とすれば反射戻り光は十分に抑制できる。またニオブ酸リチウム基板の屈折率は約2.2であるので、θ₁を13度、θ₂を5.9度として、光導波路基板から出射される測定光の進行方向が光導波路基板の長手方向と平行になるようされている。

【0030】つぎに、図1(b)および(c)を用い

て、以下に実装方法について説明する。

【0031】10は、直径6mmの半円筒形のステンレスケースであって、光導波路基板Aを納められるようになっていて、該ステンレスケース10の中心軸に測定光Lの光軸が一致するよう設けてある。また測定光出射側にオスネジ11が形成されている。変調用電極6は、ボンディング用パッド7と金のファインワイヤ8を介して電気的に結線され、さらにボンディング用パッド7には、金電極9が形成されていてリード線16, 17が半田付けされている。以上の実装を終え、センサ・ヘッドBに、センサ・ヘッドの蓋Cを被せて接着する。

【0032】Dは、測定光集光用レンズに焦点距離が3.6mmの球面レンズを用い、光導波路基板の長手方向に測定光を集光させるセンサ・キャップであり、Eは、長手方向と直角に集光させるセンサ・キャップである。

【0033】センサ・キャップDはレンズ20を円筒形のレンズホルダー21に納めたものであり、センサ・キャップEはレンズ20とプリズム型反射鏡23を、側面にレンズ20を設置するための穴の開いた円筒形のレンズホルダー24に納めたものである。何れも光導波路基板端面1dからレンズ20までの距離を10mmとし、レンズ20から被測定物までの作動距離を5.6mmとしてある。また、レンズホルダー21には、センサ・ヘッドBに螺合可能なメスネジ22が設けられている。

【0034】このように構成した光導波路型変位センサで位相変調を行い、被測定物の変位を測定すると、測定光Lは光導波路基板Aの長手方向と平行に射出することが可能となり、集光用光学系の設計、制作等を容易にすることができる。また光導波路基板Aの射出側端面を、長手方向に対して斜めに研磨された端面1dに形成することによって、光導波路端面1dからの反射戻り光は、長手方向に対して斜めに反射されて光導波路2へ戻りにくくして変位測定精度の悪化を防止することができる。

【0035】またセンサ・キャップDを測定条件や目的に応じて適宜付け替えることによって焦点距離の異なるレンズに適宜交換することが可能となり、焦点距離の長いレンズを使用したセンサ・キャップを用いれば、測定可能傾斜角は広く、横方向の分解能は高くなり、また焦点距離の長いレンズを使用したセンサ・キャップを用いれば、測定光の進行方向に対する測定可能範囲を広くすることができる。

【0036】また測定光集光用のレンズ20の他に測定光の進行方向を90度折り曲げるための鏡23を設けたセンサ・キャップEにより、測定光Lの進行方向が90度に折り曲げられて、センサ・キャップEを細い穴の中に挿入すれば、測定光Lを細い穴の内面等に照射され、細い穴の内面等の変位を計測することが可能となる。

【0037】次に、このような構成の光導波路型変位センサにより得られた測定データについて述べる。センサ・キャップDを装着した光導波路型変位センサは平板状

の試料表面、センサ・キャップEを装着した光導波路型変位センサは内径12mmの円筒形試料の内側面に対して使用し、変位測定を行ったところ、測定精度が数nm以下と良好なものであった。このことは実験的にも、不要反射戻り光が十分に抑制されていることを示唆している。さらに、集光特性を評価するために、ニオブ酸リチウム基板上に形成したライン／スペースを測定し4μm以下の横方向の分解能があることを確認した。

【0038】図2は、本発明に係る光導波路型変位センサの第2実施例に関する説明図である。本実施例で用いられる光導波路基板Aは実質的に実施例1と同一である。

【0039】3は、端部を斜面1dに対し0度の角度で臨ませた光導波路であり、端面1dには光導波路3の光を効率よく反射できる金属ないし誘電体から成る反射鏡5が形成されていて、該光導波路3上には変調用電極6が設けられている。

【0040】一方、光導波路2は、光導波路基板の長手方向と平行に形成し、斜面1dは角度θ1を5度、すなわち角度θ2が5度で形成されている。ニオブ酸リチウム基板の屈折率n₁は約2.2であるから、光導波路基板から出射された測定光が光導波路基板の長手方向となす角度θ₁は、6.05度となる。

【0041】この光導波路基板の長手方向から傾いて出射された測定光を長手方向に平行な方向に屈折するために以下に示すプリズムが使用されている。プリズムには屈折率n_pが1.557のガラス製の円筒形プリズム12が用いられている。円筒形プリズム12の光導波路基板端面1dに相対する端面12cの角度θ_pは式(2)を満たすように10.6度に研磨加工され、光導波路基板端面1dに相対する円筒形プリズム12の他方の端面12dの角度は0度に形成されている。

【0042】この方法によって、プリズムから出射される測定光は光導波路基板Aの長手方向に平行となる。また、円筒形プリズム12の長さを5mmとすると、円筒形プリズムの端面12dからの反射戻り光は光導波路基板端面1dで1.3mm以上に広がるため、光導波路2には僅かしか戻らず、測定精度を劣化させることはない。

【0043】つぎに、図2(b)を用いて実装方法を説明する。実施例1と同様、変調用電極6は、ボンディング用パッド7と金のファインワイヤ8を介して電気的に結線されており、さらにボンディング用パッド7には金電極9が形成されていて、リード線16、17が半田付けされている。以上の実装を終え、実施例1同様、全体をステンレスケース10に納めた。10は、直径6mmの半円筒形のステンレスケースであって、該ステンレスケース10の中心軸に測定光Lの光軸が一致するように設けてあり、また測定光出射側にオスネジを設けている。

【0044】センサ・キャップE、Dには、光導波路基

板端面からレンズまでの距離が11.6mmとなる位置に、焦点距離が実施例1と同じ3.6mmの球面レンズ20を、測定光を光導波路基板の長手方向に集光できるよう配置したものを用いた。光導波路基板端面からレンズまでの距離は、実効的な特性が実施例1と同じになるよう計算により算出された。また、レンズホールダ21には実施例1と同様にメスネジ22が切ってあり、センサ・ヘッドと結合できるようになっている。

【0045】上記のようなセンサ・ヘッドBとセンサ・キャップE、Dを用い、変位測定を行ったところ、実施例1と同様の結果が得られた。

【0046】

【発明の効果】本発明は、以上説明したように構成されているので、以下に記載されるような効果を奏する。請求項1乃至5のいずれかに記載の発明によれば、高価なセンサ・ヘッドを共通とし、比較的安価なセンサ・キャップは適宜付け替えることによって、被測定物の特徴あるいは測定目的に応じ焦点距離の異なるレンズに適宜交換することが可能となり、焦点距離の短いレンズを使用したセンサ・キャップを用いれば、測定可能傾斜角を広く、横方向の分解能を高くし、また焦点距離の長いレンズを使用したセンサ・キャップを用いれば、測定光の進行方向に対する測定可能範囲を広くすることができる。

【0047】また請求項2あるいは3に記載の発明によれば、測定光は光導波路基板の長手方向と平行に射出することができるようになり、集光用光学系の設計、制作等を容易にすることができます。

【0048】また請求項1乃至4に記載の発明によれば、光導波路基板の射出側端面を、長手方向に対して斜めに平坦に研磨して形成することによって、光導波路端面からの反射戻り光が、長手方向に対して斜めに反射されて光導波路へ僅かしか戻らないようにして変位測定精度の悪化を防止することができる。

【0049】また請求項6に記載の発明によれば、測定光集光用のレンズの他に測定光の進行方向を90度折り曲げるための鏡を設けることにより、測定光の進行方向が90度に折り曲げられるので、センサ・キャップを細い穴の中に挿入して測定光を細い穴の内面等に照射することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)は、本発明の第1の実施例の光導波路基板を示した概要構成図である。(b)は、本発明の第1の実施例のセンサ・ヘッドと、センサ・キャップの一例を示した概要図である。(c)は、本発明のセンサ・キャップの別の例を示した概要構成図である。

【図2】(a)は、本発明の第2の実施例の光導波路基板とプリズムを示した概要構成図である。(b)は、本発明の第2実施例のセンサ・ヘッドと、センサ・キャップ

の一例を示した概要構成図である。

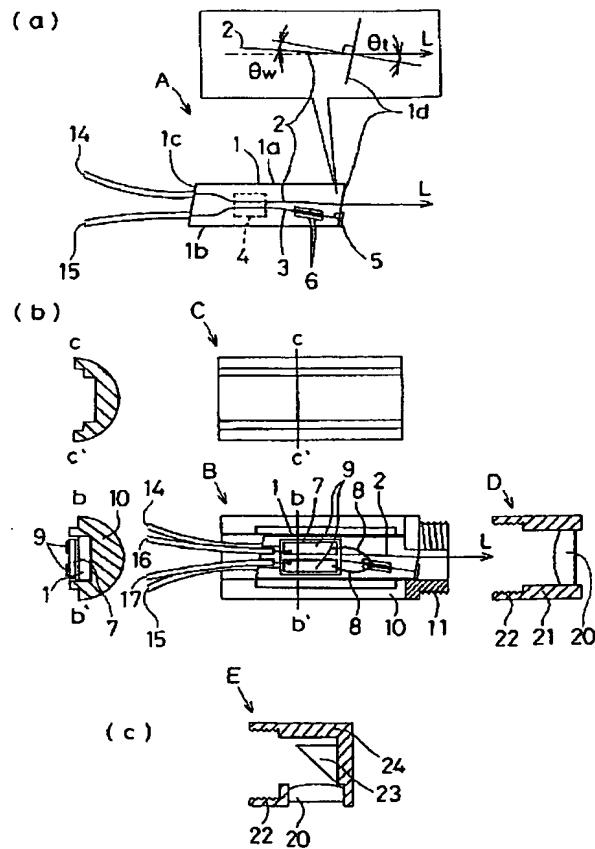
【図 3】本発明に係るプリズムの収差と θ_p の関係を表す図である。

【符号の説明】

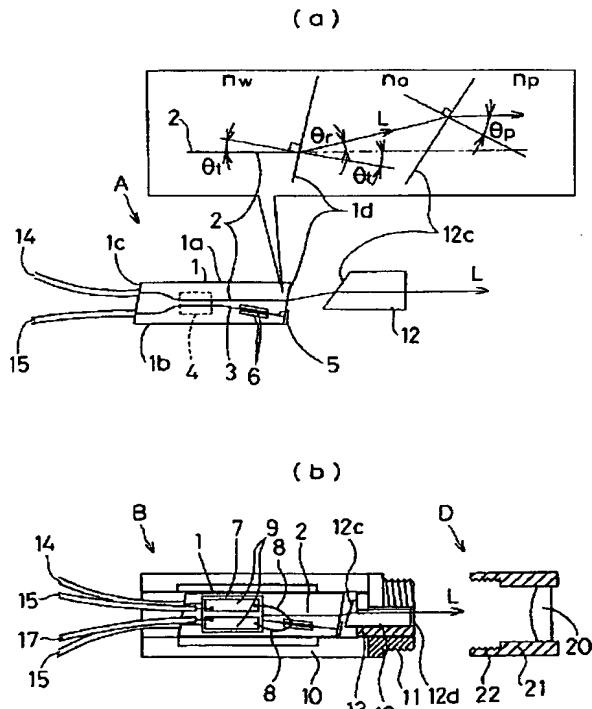
A	光導波路基板
B	センサ・ヘッド
C	センサ・ヘッドの蓋
D	光導波路基板の長手方向に測定光を集光させるセンサ・キャップ
E	光導波路基板の長手方向に直角な方向に測定光を集光させるセンサ・キャップ
L	測定光
θ_c	光導波路基板の長手方向と光導波路基板端面の法線のなす角度
θ_r	光導波路基板の長手方向となす角度
θ_p	円筒形プリズムの光導波路基板端面に相対する端面の角度
θ_w	測定光の入出力用光導波路の光導波路基板端面の法線に対する角度
n_p	光導波路基板の屈折率
n_a	空気の屈折率

n_p	プリズムの屈折率
1	電気光学結晶基板
1 a, 1 b, 1 c, 1 d	光導波路基板端面
2, 3	光導波路
4	方向性結合器
5	反射鏡
6	変調用電極
7	ボンディング用パッド
8	ファインワイヤ
9	金電極
10	ステンレスケース
11	オスネジ
12	円筒形プリズム
12 c, 12 d	円筒形プリズム端面
13	プリズムホルダ
14, 15	光ファイバ
16, 17	リード線
20	レンズ
21, 24	レンズホルダ
22	メスネジ
23	プリズム型反射鏡

【図 1】



【図 2】



【図3】

